

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального директора –
научный руководитель
акционерного общества
«Научно-технический центр
Единой энергетической системы»
д-р техн. наук, профессор
Кошеев Лев Ананьевич

11 28 октября 2019 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу
Давыдова Виктора Васильевича
«Исследование и разработка моделей расчета
предельных режимов электрических систем»,
представленной на соискание ученой степени
доктора технических наук по специальности
05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы

1. Актуальность темы диссертационной работы

Актуальность темы диссертационного исследования обусловлена необходимостью разработки быстрых и надежных методов и алгоритмов расчета предельных электрических режимов (ПР), учитывающих технологические ограничения на параметры режима энергосистемы. В настоящее время основным методом, используемым для расчета предельных электрических режимов, является метод последовательного утяжеления. Этот метод имеет ряд недостатков, в частности, использование при расчетах балансирующего узла, выбор которого оказывает существенное влияние на получаемый предельный режим.

Диссертационная работа посвящена решению актуальной научно-технической проблемы: разработке теории, математических моделей и методов расчета потокораспределения и предельных режимов энергосистемы.

2. Научная новизна диссертационной работы

В ходе проведенного комплекса исследований получены и предложены следующие новые результаты.

1. Анализ математической модели потокораспределения обнаружил, что месторасположение балансирующего узла (БУ) оказывает существенное влияние как на расчетную область существования решения уравнений установившихся режимов энергосистемы (ЭС), так и на пределы по существованию и статической аperiodической устойчивости.

2. Показано, что вся совокупность установившихся режимов (УР) ЭС для заданных параметров системы геометрически представляет собой гиперповерхность в пространстве активных мощностей всех узлов и реактивных мощностей PQ узлов, названной автором гиперповерхностью мощностей УР ЭС (ГМ). Установлено, что область существования УР ЭС (ОСР) в пространстве мощностей, широко распространенная в теории и анализе УР, является ничем иным, как проекцией ГМ вдоль оси активной мощности БУ на подпространство задаваемых мощностей, а граница этой проекции – гиперповерхностью ПР (ГПР) в пространстве мощностей. Так как в общем случае ГМ не является плоской, ее проекция, т.е. ОСР, и ее границы, т.е. ГПР, будут зависеть от выбора оси, вдоль которой осуществляется ее проецирование, т.е. от выбора БУ. Для консервативной модели ЭС, ГМ является «плоской», поэтому ее ОСР и ГПР не зависят от выбора БУ. ГМ позволила наглядно объяснить механизм возможного появления «дырок» в ОСР, т.е. неодносвязности множества режимов ЭС в пространстве мощностей, а также их исчезновение при другом выборе БУ. Анализ компонент вектора нормали ГМ выявил их взаимосвязь через относительные приросты потерь активной мощности, а также то, что в ПР относительный прирост потерь активной мощности БУ равен единице. Поэтому в ПР любые попытки БУ поддержать баланс мощности в ЭС полностью блокируются возникающими при этом потерями активной мощности. Неспособность БУ поддержать УР даже в некоторых узлах определяет ПР ЭС. В ПР БУ как бы теряет электрическую связь с частью или со всей ЭС, что фактически соответствует отсутствию БУ в вычислительной модели потокораспределения со всеми вытекающими последствиями. В реальных ЭС изменение месторасположения БУ делает этот ПР непределельным УР. Только в консервативной ЭС ПР останется предельным независимо от выбора БУ.

3. Исследование позиционной модели ЭС показало, что эта модель неявно использует и реализует идеологию распределенного БУ (РБУ), и ее предельные по статической аperiodической устойчивости режимы в точности соответствуют ПР модели потокораспределения ЭС с РБУ, в котором коэффициенты участия узлов в балансировке активной мощности ЭС назначены прямо пропорционально постоянным инерциям синхронных машин. В ПР модели с РБУ вектор нормали ГМ ортогонален вектору коэффициентов участия узлов РБУ. Т.к. постоянные инерции всегда

положительные, а компоненты вектора нормали ГМ взаимосвязаны через относительные приросты потерь активной мощности, ПР позиционной модели в заданном направлении утяжеления будет находиться дальше в пространстве напряжений, но ближе в пространстве мощностей, чем ПР модели с шиной неограниченной мощности. Показано, что для определения расчетных ПР наиболее адекватной является модель потокораспределения ЭС с шиной неограниченной мощности, в ПР которой относительные приросты потерь активной мощности для всех узлов не превышают единицу.

4. Исследованы существующие методы расчета УР ЭС, выявлены их преимущества и недостатки. Предложен робастный и вычислительно эффективный метод расчета потокораспределения, который дает решением статически устойчивый режим ЭС в случае его существования для заданных исходных данных, а при отсутствии такового - выдает рекомендации его получения. Разработан алгоритм определения критического сечения ЭС в ПР, т.е. сечения, по которому наступает нарушение статической апериодической устойчивости при переходе через ПР.

5. Показано, что одним из универсальных подходов решения задач ПР является использование моделей и инструментов нелинейного программирования. Предложена, теоретически обоснована и исследована модель нелинейного программирования ПР ЭС, оптимальным решением которой является ПР, отвечающий минимуму сформированной целевой функции.

6. Предложен простой, быстрый и надежный метод нелинейного программирования поиска ПР в заданном направлении утяжеления, время расчета которым в среднем сопоставимо с двумя обычными расчетами потокораспределения. Предложенный метод значительно превосходит существующие методы и алгоритмы в быстродействии. Кроме этого, в отличие от последних, он может не только рассчитывать ПР, индуцированные пределом реактивной мощности, но также идентифицировать конкретный генератор, чей предел индуцировал этот ПР. Предложены модель нелинейного программирования ПР в заданном направлении утяжеления, учитывающая неточность прогноза узловых мощностей или направления утяжеления, а также метод расчета, быстродействие которого в среднем сопоставимо с 3,5 обычными расчетами потокораспределения.

7. Предложены и теоретически исследованы модели нелинейного программирования ближайших ПР ЭС в l_p -нормах, выявлены их преимущества и недостатки, а также области применения. Определено, что модель нелинейного программирования во взвешенной l_∞ -норме, учитывающая неточность прогноза мощностей узлов с помощью взвешенной

Евклидовой нормы, в наибольшей степени удовлетворяет требованиям системного оператора (СО) для оценки коэффициента запаса статической устойчивости и оперативного (превентивного) управления. Показано, что модель нелинейного программирования ближайших ПР в l_1 -норме дает решением разреженный вектор управляющих воздействий и в наибольшей степени отвечает требованиям СО для ввода режима в область существования и противоаварийного управления. Оценка ближайшего ПР с помощью Евклидовой нормы основана на геометрической интерпретации, активизирует все управляющие воздействия (УВ), поэтому может быть использована СО только как косвенный показатель для первоначальной оценки УВ. Установлено, что все другие модели ближайших ПР в l_p -нормах с $p \neq 1, 2$ или ∞ мало подходят для СО. В этих моделях взаимосвязь между элементами вектора УВ не отражает никаких реальных процессов, встречающихся в практике управления режимами ЭС.

Приведенные в диссертации результаты получены лично автором. В работах, опубликованных в соавторстве, соискателю принадлежит постановка задач, разработка теоретических положений, математических моделей и методов, их алгоритмическая и программная реализация, анализ и обобщение результатов, разработка рекомендаций по применению предложенных решений.

3. Степень обоснованности и достоверности результатов

Обоснованность и достоверность научных положений, теоретических выводов, результатов и рекомендаций, содержащихся в диссертационной работе, обеспечены корректным использованием математического аппарата, соответствием результатов теоретического анализа и вычислительных экспериментов, обсуждением положений и результатов работы с российскими и зарубежными специалистами на конференциях и других научных мероприятиях.

4. Практическая ценность работы

Практическая значимость работы заключается в развитии методов анализа надежности и устойчивости ЭС за счет повышения быстродействия, надежности и точности методов и алгоритмов расчетов ПР, применения современных мощных средств нелинейного программирования.

Ценность научных работ соискателя состоит в том, что расширены фундаментальные знания о предельных режимах и моделях потокораспределения ЭС, выявлено влияние месторасположения БУ на расчетную область существования УР и предельные режимы ЭС, установлена связь между решением задачи оптимального

потокораспределения и ПР. Разработанная модель нелинейного программирования ПР ЭС позволила получить новые важные свойства ПР, способствующие лучшему пониманию УР и ПР ЭС.

Теоретические основы и инструментарии, разработанные в диссертационной работе, открывают новое направление в области решения задач статической устойчивости электрических систем (ЭС), а именно - математические и вычислительные модели нелинейного программирования поиска предельных режимов (ПР) ЭС способствуют развитию теории ПР, расширению спектра решаемых задач ПР, разработке более эффективных алгоритмов, повышению точности, надежности и быстродействия решения задач ПР ЭС.

5. Рекомендации по использованию результатов

Результаты диссертационной работы могут быть рекомендованы к использованию в организациях занимающихся оперативным управлением электрическими режимами энергосистем, проектированием ЭЭС, а также в учебном процессе образовательных учреждений.

6. Оценка содержания автореферата и диссертации

Анализ содержания диссертационной работы Давыдова Виктора Васильевича показал, что диссертационная работа соответствует требованиям, установленным п. 14 Положения о присуждении ученых степеней. Текст диссертации представляет собой самостоятельную научно-квалификационную работу, не содержит заимствованного материала без ссылки на автора и (или) источник заимствования. Диссертационное исследование не содержит результатов научных работ, выполненных в соавторстве, без ссылок на соавторов. Автореферат диссертации достаточно полно отражает выполненные исследования и полученные результаты. В диссертации подробно раскрыты положения, выносимые на защиту, предложенные решения новы и достаточно полно аргументированы. Структура диссертации обладает внутренним единством, текст написан технически грамотным языком и качественно оформлен. Материалы диссертации полно представлены в работах, опубликованных соискателем

7. Вопросы и замечания

1) В тексте диссертации и автореферата указывается, что критерий предельных по статической апериодической устойчивости режимов позиционной модели включает постоянные инерции синхронных машин. Непонятен физический смысл зависимости предельного по статической

апериодической устойчивости режима энергосистемы от указанного параметра.

2) Корректно ли утверждение, принятое для позиционной модели, что общий небаланс мощности в энергосистеме распределяется пропорционально постоянным инерции синхронных машин, учитывая наличие в настоящее время в энергосистемах быстродействующих систем регулирования мощности энергоблоков, а также регуляторов мощности преобразовательных устройств (вставок и электропередач постоянного тока), реагирующих на изменение частоты?

3) Показано, что в предельном режиме относительный прирост потерь активной мощности равен единице для балансирующего узла. Каков будет относительный прирост потерь реактивной мощности?

4) Требуется пояснений утверждение автора о том, что выдача управляющих воздействий только по одному узлу при использовании одной из моделей нелинейного программирования ближайших ПР обеспечит минимальный объем управляющих воздействий в энергосистеме.

Заключение

Приведенные замечания носят частный характер и не снижают научной и практической ценности диссертации.

Представленная диссертационная работа Давыдова Виктора Васильевича на тему «Исследование и разработка моделей расчета предельных режимов электрических систем» является законченной научно-квалификационной работой, обладающей внутренним единством и содержащей результаты выполненных автором исследований, на основе которых разработаны теоретические положения и решена актуальная научной-техническая проблема. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

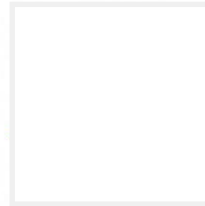
На основании изложенного можно констатировать, что рассмотренная диссертационная работа соответствует требованиям пп. 9 – 14 раздела II. Критерии, которым должны отвечать диссертации на соискание ученых степеней «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842 (ред. 01.10.2018), предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени доктора технических наук, а ее автор Давыдов Виктор Васильевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

Отзыв на диссертационную работу Давыдова Виктора Васильевича «Исследование и разработка моделей расчета предельных режимов

электрических систем» обсужден и одобрен на расширенном заседании научно-исследовательских отделов: «Электроэнергетические системы» (НИО-3) и «Проектирование и развитие электроэнергетических систем» (НИО-6) акционерного общества «Научно-технический центр Единой энергетической системы» (АО «НТЦ ЕЭС»). Протокол № 9/2019 от 07 октября 2019 г.

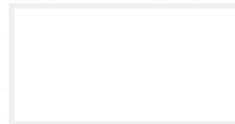
Отзыв подготовил:

Заместитель генерального директора –
директор департамента системных
исследований и перспективного развития
АО «НТЦ ЕЭС»,
канд. техн. наук, доцент



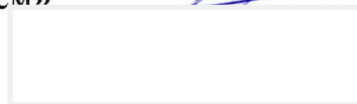
Герасимов
Андрей Сергеевич

Заведующий отделом
«Электроэнергетические системы»
АО «НТЦ ЕЭС»
канд. техн. наук



Смирнов
Андрей Николаевич

Заведующий отделом
«Проектирование и развитие
электроэнергетических систем»
АО «НТЦ ЕЭС»
канд. техн. наук



Брилинский
Андрей Станиславович

Данные об организации:

Акционерное общество «Научно-технический центр Единой энергетической системы» (АО «НТЦ ЕЭС»)

Адрес: 194223, г. Санкт-Петербург, ул. Курчатова, д. 1, лит. А

Телефон: (812) 297-54-10, сайт: <http://www.ntcees.ru>

электронная почта: ntc@ntcees.ru

Подпись



*А. Н. и Брилинского А. С.
заверено.*

Отзыв получен 21.10.2019г.

С отзывом ознакомлен 24.10.2019